

## 論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(4), 318-325(2015)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.4.318

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

## 상용 프레넬렌즈를 이용한 극초소형 위성용 집광형 태양전력 시스템의 궤도 전력생성효율 분석

박태용, 채봉건, 오현웅\*

### On-orbit Analysis of Power Generation Efficiency of Concentrating Photovoltaic System Using Commercial Fresnel Lens for Pico Satellite Applications

Tae-Yong Park, Bong-Geon Chae and Hyun-Ung Oh\*

Space Technology Synthesis Laboratory, Department of Aerospace Engineering, Chosun University

#### ABSTRACT

Pico satellite has limited surface to install the solar cells due to its extremely limited size. Also, the sun incidence angle with respect to the solar panel continuously varies according to the attitude control strategy and its important parameter for the power generation. In this study, a concentrating photovoltaic system for pico satellite application has been proposed that can enhance the power generation efficiency in case of the unfavorable condition of the sun incidence angle with respect to the solar panel of the satellite using the fresnel lens. To prove the possibility of maximizing the power generation efficiency of the proposed concentrating power system, we have performed the power measurement test using a solar simulator and commercial fresnel lens. And on-orbit analysis of the power generation efficiency using the STK which is a commercial S/W has also been performed based on the test results.

#### 초 록

극초소형 위성은 극히 제한적인 크기로 인하여 태양전지판 장착을 위한 표면적이 제한적이다. 또한 자세제어 방식에 따라서는 태양전지판에 대한 태양 입사각이 계속적으로 변화하며 이는 전력생성에 있어 주요 변수이다. 본 논문에서는 태양전지판에 대한 태양입사각이 전력생성에 불리한 조건에도 프레넬렌즈를 이용해 전력생성효율 향상이 가능한 극초소형 위성용 집광형 태양전력시스템을 제안하였다. 제안된 집광형 태양전력시스템의 전력생성효율 극대화 가능성 입증을 위하여 태양광 모사기와 상용 프레넬렌즈를 이용한 전력측정시험을 수행하였으며, 시험결과를 기반으로 상용 S/W인 STK를 활용해 영구자석 안정화 자세제어 방식이 적용된 극초소형 위성의 궤도 전력생성효율 분석을 수행하였다.

**Key Words** : Pico Satellite(극초소형 위성), Power Generation(전력생성), Concentrating Photovoltaic(집광형 태양전력)

† Received : November 29, 2014 Revised : March 1, 2015 Accepted : March 16, 2015

\* Corresponding author, E-mail : ohu129@chosun.ac.kr

## I. 서 론

극초소형 급 위성으로 분류되는 큐브위성은 표준화된 사이즈인 1U(Unit)를 기준으로 부피 10cm × 10cm × 10cm 및 무게 1.33kg 이하의 제약조건을 가진다. 또한 우주의 무한한 에너지원인 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 태양전지판을 이용하여 위성 운용에 필요한 전력을 생산한다[1-2].

과학기술 발전에 따른 첨단화 및 소형화로 큐브위성에도 고성능 탑재체가 탑재됨에 따라 큐브위성의 임무 또한 점차 고도화되는 추세에 있다. 이와 같은 위성의 고도화된 임무수행을 위해서는 증가하는 요구전력을 충족하기 위한 위성의 생성 전력 확보가 매우 중요하다. 그러나 큐브위성은 육면체 형상으로 인하여 태양지향이 가능한 태양전지판 면의 개수가 제한되며, 탑재체 및 통신안테나 장착으로 인한 전용 관벨이 필요할 경우 태양전지 셀 장착을 위한 표면적은 더욱 적어지게 된다. 또한 위성의 자세제어 적용 방식에 따라서는 위성의 공전과 자전의 반복으로 인하여 태양전지판에 대한 태양입사각이 계속적으로 변화할 수 있으며, 이는 태양전지의 전력생성에 있어서 주요 변수로 작용한다. 이러한 제약조건을 극복하고 생성전력의 증가를 위하여 별도의 전개형 태양전지판을 적용하더라도 발사 시 수납 및 궤도상에서 전개를 위한 별도의 전개 메커니즘을 필요로 하며, 이로 인해 시스템의 복잡화 및 메커니즘 작동불능 시 위성 시스템 전체의 임무실패로 이어지는 단점을 수반한다.

이와 같이 태양전지판 가용면적에 한계를 갖는 큐브위성의 전력생성효율 향상을 위하여 본 논문에서는 현재 지상용으로 폭넓게 적용되고 있는 집광형 태양전력(CPV: Concentrating Photo Voltaic)시스템에 주목하여 극초소형 위성으로의 적용가능성을 검토하였다. 집광형 태양전력시스템은 광학계를 이용하여 태양광을 집광 및 조사하여 고효율로 전력을 생산하는 시스템으로 값비싼 태양전지 셀의 면적을 최소화하여 설치면적 대비 발전효율을 대폭 향상시킬 수 있는 대안으로 현재 국내 및 해외에서 주목받고 있다[3-4]. 또한, 해외 선진국에서는 상기의 지상용 집광형 태양전력시스템을 응용하여 정지궤도에 배치된 수 km의 대형 광학계로 태양에너지를 집광 및 고효율로 생산된 전력을 무선으로 지상에 전송하는 우주태양광발전시스템(SSPS: Space Solar Power System)으로도 활발한 연구개발이 이루어지고 있다[5]. 그러나 상기의 지상용 및 우주용

집광형 태양전력시스템의 경우, 광학계의 대형화 문제 및 고효율 유지를 위한 별도의 냉각장치와 태양추적 장치 등의 부가적 시스템이 필수적이며, 이를 우주임무에 적용 시 시스템의 복잡화 및 그에 따른 신뢰도 저하가 예상된다. 특히, 극초소형의 크기를 갖는 큐브위성에 상기의 집광형 태양전력시스템의 구성을 그대로 적용하는 것은 현 기술 단계에서는 실효성이 없을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 궤도상에서 위성의 공전 및 자전의 반복 등으로 인해 태양전지판에 대한 태양입사각이 계속적으로 변화하는 조건에 있는 큐브위성의 태양전지판 가장자리에 최적화 각도로 배치된 집광형 프레넬렌즈를 이용하여 태양광을 굴절 및 조사하여 위성의 전력생성효율 향상이 가능한 극초소형 위성용 집광형 태양전력시스템을 제안하였다. 선행연구[6]에 적용되었던 배열형 렌즈를 이용하여 집광 시 전력생성효율 향상에 있어서 한계점이 존재하였으나, 이를 상용 프레넬렌즈로 대체 시 전력생성효율의 극대화가 가능할 것으로 예상된다. 본 논문에서 제안된 방식의 전력생성효율 향상 가능성을 입증하기 위하여 태양광 모사기와 상용 PMMA(Poly-Methyl Methacrylate) 소재의 프레넬렌즈를 이용한 전력측정시험을 수행하였다. 또한 상기 시험결과를 토대로 상용 S/W인 STK(Systems Tool Kit)를 활용하여 영구 자석 안정화 자세제어 방식에 기초한 극초소형 위성의 궤도 전력생성효율 분석을 수행하여 프레넬렌즈 적용 시와 선행연구[6]의 배열형 렌즈 적용 시의 전력증가 성능을 비교하였다.

## II. 본 론

### 2.1 종래의 CPV 시스템 개요 및 원리

지상용 CPV 시스템은 광학계를 이용하여 집광된 태양에너지를 상대적으로 좁은 면적의 태양전지에 조사하여 태양전지 설치면적대비 발전효율을 극대화하는 방식이며, 태양전지 셀의 비중을 낮추고 초기설치비용 대비 발전효율을 높이는 것이 가능하다. CPV 시스템은 기본적으로 프레넬렌즈 및 반사경을 이용하는 집광방식으로 분류된다. 프레넬렌즈를 이용하는 방식의 경우, 렌즈의 굴절을 통해 집광된 태양광을 초점부에 프레넬렌즈와 수평하게 배치된 태양전지 셀에 조사하여 고효율로 전력을 생산하는 방식이며 집광효율 극대화를 위해 2차 광학계를 적용하기도 한다[7]. 반사경을 이용하는 집광방식은 단일 또는 다수의 파라볼릭 형태의 반사경을 초점부의 태양전지에

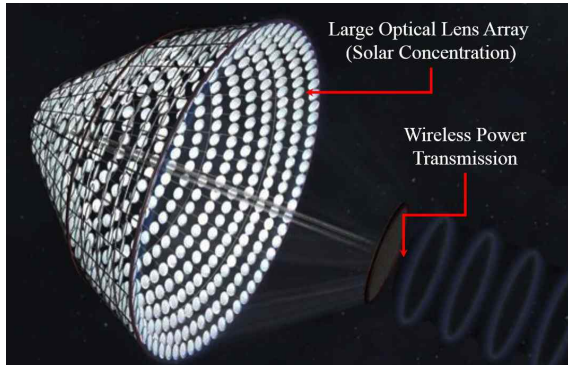


Fig. 1. SPS-Alpha(NASA)[10]

집광이 가능하도록 배치하여 태양집광을 수행하게 된다[8]. 프레넬렌즈를 적용한 집광방식과 비교하여 시스템의 대형화가 용이하여 주로 대용량 CPV 시스템의 집광방식으로 적용되며, 목적에 따라 고 에너지를 얻고자 할 경우 태양열 발전을 병행하여 발전효율을 극대화하는 하이브리드 형 CPV시스템으로도 적용되고 있다[9].

이외에도 상기의 지상용 CPV 시스템의 개념을 응용하여 정지궤도(약 36000km)상에 수 km의 거대한 렌즈 및 반사경 어레이를 이용하여 태양광을 집광 및 생산된 전기에너지를 지상발전소에 전송하는 개념인 우주태양광발전시스템(SSPS: Space Solar Power System)은 미국과 일본 등의 우주개발선진국에서 미래 새로운 에너지원으로 주목하고 있으며, 2030년경에 실용화하는 것을 목표로 활발한 기초연구 및 개념설계가 이루어지고 있다[11].

2.2 극초소형 위성용 CPV 시스템

상기의 지상용 CPV시스템을 우주임무에 적용할 경우, 태양전지 조사면적에 따른 광학계의 크기 및 초점거리 확보가 가능하도록 태양전지와 이격시켜야 하므로 발사 시 광학계를 구속 및 궤도상에서 전개시키기 위한 구속분리 메커니즘의 탑재가 요구된다. 또한 원활한 집광을 위해서는 항상 CPV 모듈을 태양광의 법선벡터 방향으로 지향할 수 있도록 센서 및 구동장치 등의 제어시스템이 필요하며, 집광 시 좁은 면적의 태양전지 셀에 국부적으로 집중되는 발열로 인한 CPV 모듈의 효율저하를 방지하기 위하여 히트파이프나 방열기 등의 냉각장치의 적용이 필수적이다. 이러한 지상용 CPV 시스템 구성을 우주임무에 그대로 적용할 경우, 시스템 전체의 복잡화로 이어지며 이에 따른 신뢰도 저하가 우려된다. 특히 극초소형의 크기 및 중량을 가지는 큐브위성에 이를 적용하는 것은 현 기술수준을 고려하였을

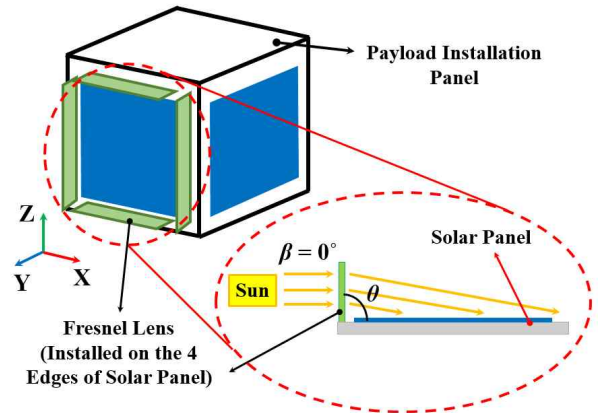


Fig. 2. Example of 1U Cube Satellite with CPV System Using Fresnel Lens

때 사실상 실효성이 없을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 크기 및 무게의 제한과 위성의 공전과 자전으로 인한 태양광 사각지대의 발생으로 전력생성효율에 한계가 존재하는 점을 개선하고자 종래의 지상용 CPV 시스템의 태양 집광개념을 응용하여 Fig. 2와 같은 CPV 시스템이 적용된 극초소형 위성을 제안하였다. 제안된 방식은 태양전지판에 대한 태양광 입사각인  $\beta$ 각이  $0^\circ$ 로 전력생성 측면에서 불리한 조건에서도 태양전지판의 외측에 일정 경사각  $\theta$ 로 각각 배치된 프레넬렌즈를 이용하여 태양광을 굴절 및 태양전지로 조사함으로써 태양전지의 전력생성효율의 향상이 가능하다. 또한, 집광렌즈는 외곽에만 배치되어 있음으로서  $\beta$ 각이  $0^\circ$ 보다 증가함에 따라 태양전지의 전력생성에 있어서 호조건에서도 집광렌즈의 투과율 손실 및 초점부 외의 그림자 발생으로 인한 전력생성효율 저하를 최소화하여 집광렌즈가 존재하지 않을 때와 최대한 유사한 전력생성효율이 보장 가능하도록 고안되었다.

2.3 극초소형 위성용 CPV 시스템 검증

2.3.1 극초소형 위성용 CPV 시스템 전력측정시험

제안된 CPV 시스템의 큐브위성 적용에 따른 전력생성효율 향상 가능성 검증을 위하여 Fig. 3과 같은 태양광 모사기를 이용한 전력측정시험을 수행하였다. 상용 프레넬렌즈(Buy Lens사, HT-C-182235)는 Fig. 3과 같이 태양전지 외곽에 각각 배치되며, 설치각도  $\theta$ 는 예비시험 수행을 통해 도출된 최적화 각도인  $90^\circ$ 로 하였다. 광원과 태양전지의  $\alpha, \beta$  각도변화 시, 프레넬렌즈 배치 유무에 따라 멀티미터를 이용하여 획득된 전압 및 전류 값을 토대로 전력생성량을 비교하였다. 시험에 적용된 태양광 모사기의 제원을 Table 1에 나타내었으며, 상용 집광형 프레넬렌

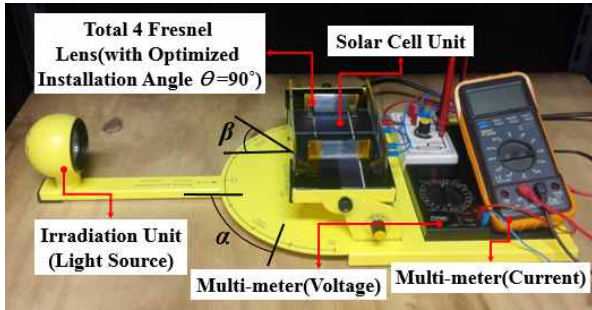


Fig. 3. Power Measurement Test Set-up Using Solar Simulator and Commercial Fresnel Lens

Table 1. Specification of Solar Simulator

Name	SolarTrainer Junior(IKS, Germany)
Irradiation Unit	Halogen Lamp(Osram)
Irradiation	150W/m <sup>2</sup>
Solar Cell	Polycrystalline Si Solar Cell
Cell Efficiency	17%(at 1000W/m <sup>2</sup> )
Cell Size	50mm × 100mm(per Cell)

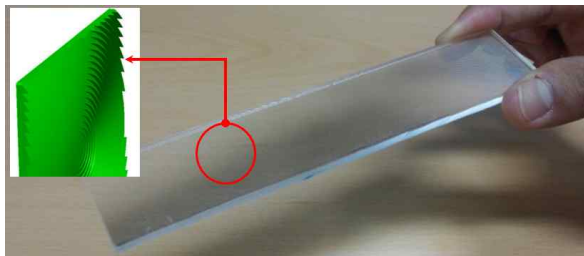


Fig. 4. Configuration of Commercial Fresnel Lens

Table 2. Specification of Commercial Fresnel Lens

Name	Convex Fresnel Lens
Material	PMMA(Poly-Methyl Methacrylate)
Dimension	30mm × 189mm × 3mm
Focal Length	182mm
Transmission	92%(at 400~1100nm)

즈의 형상과 제원은 각각 Fig. 4와 Table 2에 나타내었다.

### 2.3.2 CPV 전력측정시험 결과

상기의 프레넬 렌즈 배치 유무에 따른 태양전지판의 전력생성효율 증가효과 검증을 목적으로 상기의 태양광 모사기를 이용한 전력측정시험을

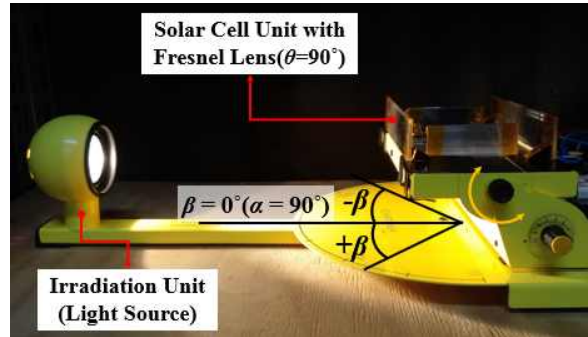


Fig. 5. Test Set-up for  $\alpha=90^\circ$ ,  $\beta=0^\circ$  with  $\theta=90^\circ$

통해 다양한 각도변화에 따른 프레넬렌즈 배치 시와 비배치 시의 생성전력을 측정하였으며, 선행연구[6]의 배열형 렌즈 적용 시와 전력증가 성능을 비교하기 위하여 동일한 각도조건 하에서 시험을 수행하였다.

Figure 5는 궤도상에서 위성의 공전 및 자전에 따라 태양전지에 대한 태양입사각인  $\beta=0^\circ$ 로 전력생성에 있어 불리한 조건을 모사한 시험구성을 나타내며, 상기 조건에서 프레넬렌즈 배치여부에 따른 전압, 전류 측정결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5와 같이  $\beta=0^\circ$ 인 조건에서 렌즈 비배치 시에는 생성 전압, 전류가 거의 0에 가까운 반면, 본 논문에서 제안한 방식대로 배치된 프레넬렌즈를 이용하여 광원을 태양광을 집광 시 전력생성효율이 태양전지 최대효율의 18.17% 수준으로 증가한다. 또한 이는 선행연구[6]의 배열형 렌즈 적용 시와 비교하여 약 9.4배의 전력생성량으로 본 연구에서 목표로 하는 전력생성효율의 극대화가 가능함을 알 수 있다.

Figure 7은 Fig. 5의 시험구성과 같이  $\alpha=90^\circ$ 로

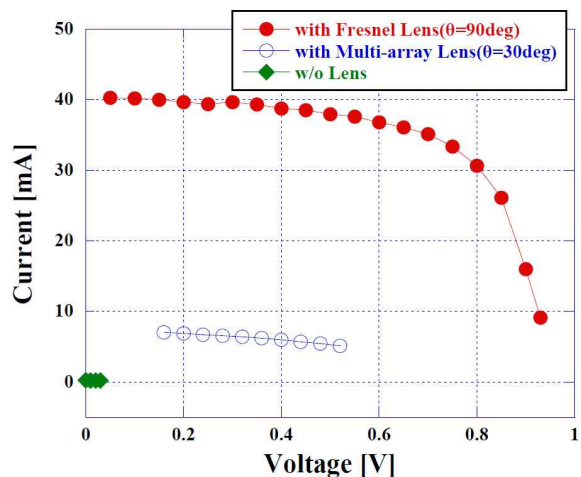


Fig. 6. Test Results for  $\alpha=90^\circ$ ,  $\beta=0^\circ$  with  $\theta=90^\circ$



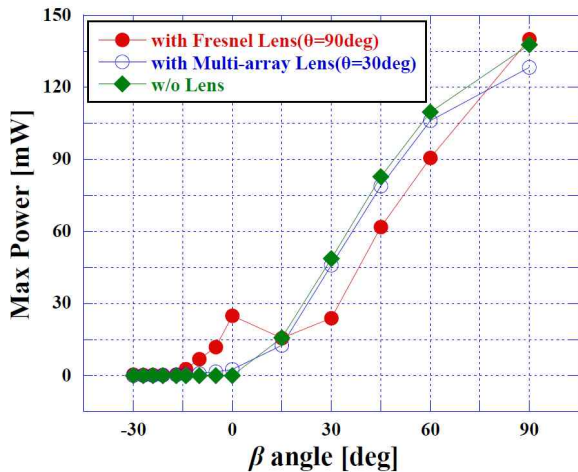


Fig. 7. Test Results for  $\alpha=90^\circ$ , Variable  $\beta$  and  $\theta=90^\circ$

고정되어 있으나  $\beta=30\sim 90^\circ$ 로 변화하는 경우, 렌즈 비배치 시와 프레넬렌즈 및 배열형 렌즈 배치 시 각도에 따른 생성전력의 변화를 각각 나타낸 시험결과이다. 우선, 태양전지의 전력생성에 불리한 각도조건인  $\beta=30\sim 15^\circ$ 의 각도구간에서는 프레넬렌즈 적용에 따라 선행연구[6]에서의 배열형 렌즈 적용 시와 비교하여 모든 시험각도에서 최소 2배 이상의 생성전력 획득이 가능함을 확인하였다. 그러나 태양전지의 전력생성에 있어서 호조건인  $\beta=15\sim 90^\circ$  이후 각도구간에서는 배열형 렌즈로 집광 시 모든 각도에서 전반적으로 효율 유지가 가능한 반면, 프레넬렌즈로 집광 시에는  $\beta=90^\circ$ 를 제외한 모든 각도구간에서 배열형 렌즈에 비해 최대 8.95배까지 생성전력이 감소한다. 이러한 이유는  $\beta$ 각 증가에 따라 대부분의 각도에서 배열형 렌즈 적용 시와 비교하여 집광렌즈의 굴절각에 따라 그림자가 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 본 논문에서 제안한 CPV 시스템의 주 적용대상인 큐브위성은 육면체 형태의 위성 본체에 태양전지판이 장착된다. 따라서 하나의 태양전지판이 다소 효율저하가 극심한 각도조건에 있더라도 이를 제외한 나머지 태양전지판은 집광효율 확보가 가능한 각도 조건에 있게 되며, 이를 통해 Fig. 7과 같은 태양전지의 전력생성에 호조건인 각도조건에서의 렌즈의 존재로 인한 효율저하를 극복 가능할 것으로 예상된다.

Figure 8은 Fig. 5와 같이 태양전지판은  $\beta=0^\circ$ 로 고정되어 있으나, 광원의 회전방향 각도  $\alpha$  만이 변화할 때( $\alpha=67.5^\circ, 45^\circ, 22.5^\circ, 0^\circ$ ) 집광렌즈 적용에 따른 전력생성효과 검증을 위한 시험구성을 나타내며, 상기 조건에서 프레넬렌즈 및 배열형 렌즈 적용에 따른 전력측정 결과를 각각 Fig. 9

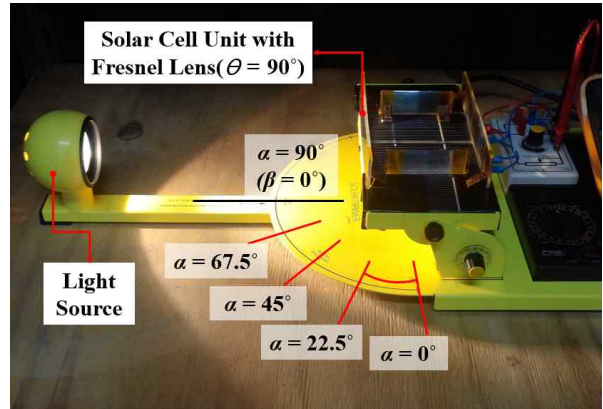
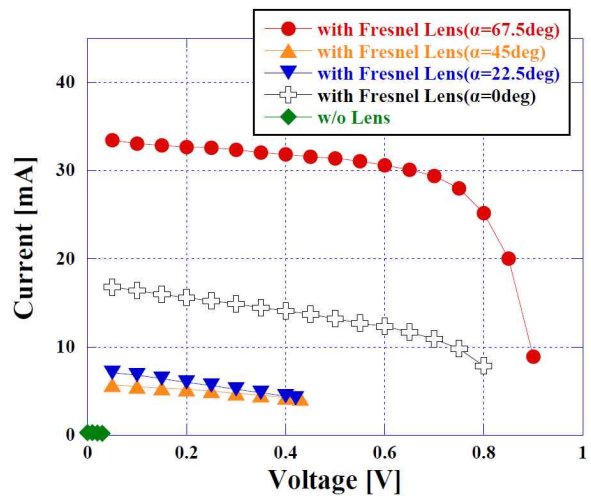
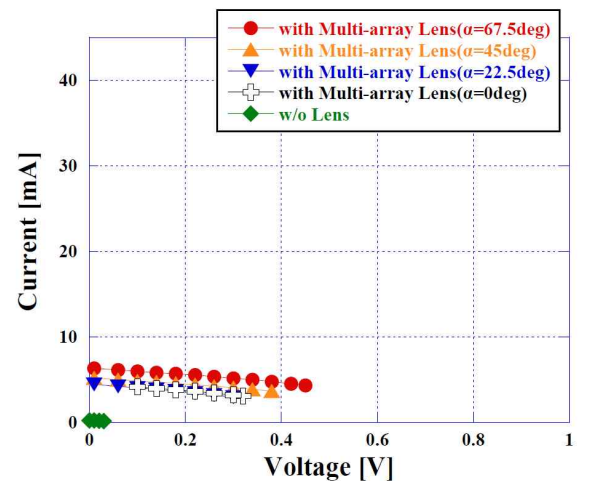


Fig. 8. Test Set-up for  $\alpha=0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, \beta=0^\circ$  and  $\theta=90^\circ$



(a)



(b)

Fig. 9. Test Results for  $\alpha=0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, \beta=0^\circ$  ((a): Using Fresnel Lens with  $\theta=90^\circ$ , (b): Using Multi-array Lens with  $\theta=30^\circ$ )

Table 3. Test Results Summary

Incidence Angle		P <sub>max</sub> (mW)		
		w/o Lens	with Multi-array Lens	with Fresnel Lens
$\alpha$	$\beta$			
67.5°	0°	0.0032	1.98	21
45°			1.41	1.79
22.5°			0.90	1.77
0°			1.01	7.63
90°	0°	0.0032	2.66	<u>25.05</u>
	15°	15.79	12.62	15.67
	30°	48.78	46	23.93
	45°	82.77	79.04	61.95
	60°	109.76	106.16	90.73
	90°	137.87	128.35	140.2

의 (a)와 (b)에 나타내었다. 프레넬렌즈를 배치 시, Fig. 5의  $\alpha=90^\circ$ 일 경우와 비교하여 전반적으로 전력생성효율이 다소 저하되지만 태양전지의 총 네 방향의 가장자리에 집광렌즈가 배치됨에 따라 모든 시험각도에서 렌즈 미적용 시와 비교하여 태양전지 최대효율의 1.3%의 전력생성효율 확보가 가능하며, 배열형 렌즈 적용 시와 비교하였을 때 최소 1.3배 이상의 성능이 확보됨을 알 수 있다.

Table 3은 프레넬렌즈를 적용한 CPV 시스템의 큐브위성 적용 시 전력생성효율 극대화 가능성 검토를 위해 상용 프레넬렌즈와 태양광 모사기를 적용한 전력측정시험 결과를 정리하여 나타낸 것으로, 각 시험각도 별 전류와 전압 특성그래프로부터 최대전력 시의 전압( $V_{max}$ ) 및 전류( $I_{max}$ ) 값을 나타낸 것이다. 프레넬렌즈의 최적화 설계가 수행되지 않았음에도 태양전지에 대한 태양입사각이 0° 혹은 이와 유사한 각도로 전력생성이 불리한 조건일 경우에도 태양전지 외곽에 배치된 프레넬렌즈로 태양광을 효율적으로 굴절 및 조사를 통해 전력생성효율 향상이 가능하며, 동일 조건에서 배열형 렌즈와 비교하여 더욱 효율적인 전력생성이 가능함을 확인하였다.

### 2.3.3 극초소형 위성용 CPV 시스템 궤도 전력 생성효율 분석

본 연구에서 제안한 CPV 시스템의 극초소형 위성 적용에 따른 궤도상에서의 전력생성효율 예측을 목적으로 상기의 전력측정시험 결과를 토대로 상용 S/W인 STK(Systems Tool Kit)를 활용하여 Fig. 10과 같이 1U를 기본으로 하는 큐브위성을 대상으로 궤도 전력생성효율 분석을 수행하

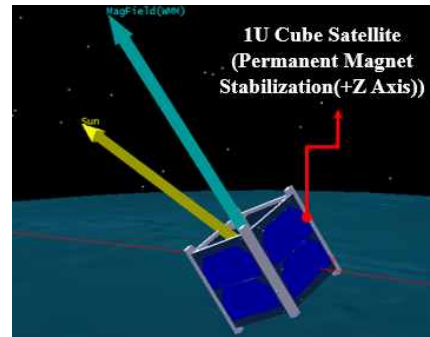


Fig. 10. Simulation Model of 1U Standard Cube Satellite

Table 4. On-orbit Analysis Condition of Power Generation Efficiency with CPV System

Orbit	Sun-synchronous, 600km Altitude
Period	5801Sec(Sunlight: 3682Sec, Eclipse: 2119Sec)
Solar Intensity	1358W/m <sup>2</sup>
Attitude	Permanent Magnet Stabilization(+Z)
Solar Cell	Azurspace 3G30C Triple-Junction GaAs Solar Cell - Efficiency: 30% - Cell Area: 60.36cm <sup>2</sup> (per Panel) - +X, -X, +Y, -Y Panel Installation
CPV System	+Y, -Y Panel Installation

였다. Table 4는 시뮬레이션 시 가정된 궤도 및 태양광의 세기 등의 분석조건을 나타내며, 위성의 자세제어 방식의 경우 시스템의 간소화를 지향하는 극초소형 위성에 폭넓게 적용되고 있는 수동형 영구자석 자세제어 안정화 방식을 예시로 적용하였다. Fig. 11은 영구자석 자세제어 안정화 방식을 적용한 큐브위성의 궤도상에서의 자세 프로파일을 나타낸다. 위성은 +Z 방향에 장착된 영구자석을 이용하여 지구의 지자기 자력선에 따라 수동적으로 자세가 정렬되며 궤도당 2회의 자전을 수행한다[12]. 태양전지판은 위성의 +X, -X, +Y, -Y의 총 4개면에 장착되며, 시뮬레이션 결과로부터 태양광에 대한 각도조건이 전력생성에 가장 불리한 +Y, -Y의 2개 면을 예시로 하여 집광형 프레넬렌즈를 장착한 것으로 가정하였다.

Figure 12는 상기의 해석조건에 따라 수행되어진 전력생성효율 분석 결과를 나타내며, 본 논문에서 적용하고자 하는 프레넬렌즈 적용 여부에 따른 극초소형 위성의 궤도상에서의 전력생성 증

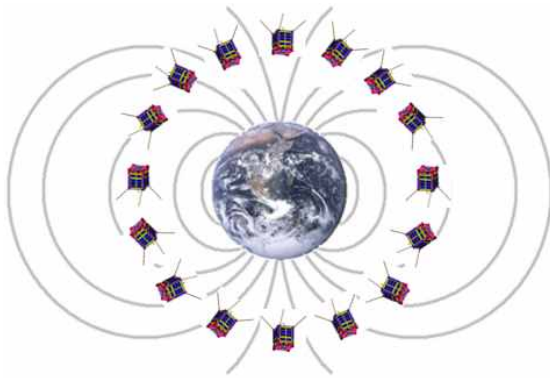


Fig. 11. Attitude Profile of Permanent Magnet Stabilization Method[12]

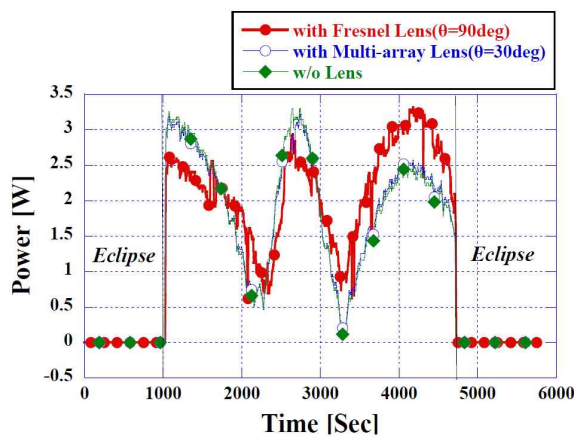


Fig. 12. Analysis Results of On-orbit Power Generation Efficiency

가효율을 선행연구[6]의 배열형 렌즈 적용 시와 비교하였다. 우선, 배열형 렌즈를 적용 시 궤도당 전력생성 증가효율은 렌즈 미적용 시와 비교하여 약 0.25%로 저조하였으며, 이는 태양전지의 전력생성이 원활한 구간에서 배열형 렌즈의 존재로 인한 생성전력의 저하에 비해 태양전지의 전력생성이 불리한 각도구간에서 증가하는 전력이 미약하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 적용하고자 하는 프레넬렌즈를 적용 시, 태양전지의 전력생성이 원활한 각도구간에서 프레넬렌즈의 존재로 인한 전력생성효율의 저하가 극심한 단점에도 불구하고, 전력생성이 불리한 각도구간에서의 집광효과가 뛰어난 장점으로 전력생성효율이 약 10.13% 증가되며, 배열형 렌즈 적용 시와 비교하여 40.52배 높은 생성전력 증가가 가능함을 알 수 있다. 상기의 분석 결과로부터, 부피 및 무게의 제한으로 태양전지판 가용면적에 한계가 존재하는 극초소형 위성에 제안된 방법으로 프레넬렌즈를 적용함에 따른 전력생성효율 극대화 가능성을 확인하였다.

### III. 결 론

본 논문에서는 극초소형 위성의 극히 제한적인 크기로 인해 태양전지판 설치면적에 제약이 존재하며, 위성의 공전 및 자전을 이유로 태양전지판의 각도가 계속적으로 변화하는 극초소형 위성의 전력생성효율 극대화를 목적으로  $\beta$ 각이  $0^\circ$  또는 그 이하의 각도로 전력생성에 불리한 조건에서는 생성전력의 증가가 가능하며, 이와 반대로  $\beta$ 각이  $0^\circ$ 보다 증가함에 따라 전력생성에 유리한 조건에서는 프레넬렌즈의 존재로 인한 전력생성효율 저하를 최소화하여 태양전지의 효율유지가 가능한 집광형 태양전력시스템을 제안하였다. 극초소형 위성 적용에 따른 전력생성 증가효율 검증의 목적으로 태양광 모사기를 이용한 전력측정시험 및 시험결과를 기반으로 하여 상용 S/W인 STK를 활용하여 1U를 기본으로 하는 큐브위성을 대상으로 궤도 전력생성효율 분석을 수행하였다. 분석 결과로부터 프레넬렌즈 적용 시 궤도당 전력생성 증가효율이 10.13%로 선행연구[6]의 배열형 렌즈 적용 시와 비교하여 40.52배 높은 전력생성효율 확보가 가능함을 확인하였으며, 이로부터 목표하는 극초소형 위성의 전력생성효율 극대화 가능성을 확인하였다. 본 연구에서 제안된 프레넬렌즈를 이용한 집광형 태양전력시스템은 현재 조선대학교 항공우주공학과에서 개발 중이며, 2015년 발사예정에 있는 1U 사이즈의 큐브위성에 탑재하여 궤도검증을 수행할 예정이다. 향후, 적용렌즈 재료에 대한 아웃게싱 시험 등을 통해 우주적용 가능성 검토 및 큐브위성 설계제한 규격과 전력생성효율을 종합적 측면에서 고려한 최적화 설계를 수행할 예정이다.

### References

- 1) Tanaka, T., Kawamura, Y., and Tanaka, T., "Overview and Operations of CubeSat FITSAT-1 (NIWAKA)", *6<sup>th</sup> IEEE International Conference on Recent Advances in Space Technologies(RAST)*, 2013, pp.887~892.
- 2) Taraba, M., Rayburn, C., Tsuda, A., and MacGillivray, C., "Boeing's CubeSat TestBed 1 Attitude Determination Design and On-Orbit Experience", *23<sup>rd</sup> Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, 2009, pp.1~9.
- 3) Munoz, E., Vidal, P. G., Nofuentes, G., Hontoria, L., Perez-Higueras, P., Terrados, J.,

- Almonacid, G., and Aguilera, J., "CPV Standardization: An Overview", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 1, 2010, pp.518~523.
- 4) Foresi, J., Babej, A., Han, R., Liao, T., Wang, C., and King, D., "Suncore's CPV Power Plant Deployment in Western China", *40<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference(PVSC)*, 2014, pp.3282~3286.
- 5) Naoki, S., and Shigeo, K., "Recent Wireless Power Transmission Technologies in Japan for Space Solar Power Station/Satellite" *2009 IEEE Radio and Wireless Symposium*, 2009, pp.13~15.
- 6) Park, T. Y., Chae, B. G., Lee, Y. G., Kang, S. J., and Oh, H. U., "Experimental Investigation of Concentrating Photovoltaic System Applying Commercial Multi-array Lens for Space Applications", *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 42, No. 7, 2014, pp.622~627.
- 7) Buljan, M., Miñano, J. C., Benítez, P., Mohedano, R., and Chaves, J., "Improving Performances of Fresnel CPV Systems: Fresnel-RXI Köhler Concentrator", *Optics Express*, Vol. 22, No. S2, 2014, pp.A205~A210.
- 8) Shanks, K., Sarmah, N., Reddy, K. S., and Mallick, T., "The Design of a Parabolic Reflector System with High Tracking Tolerance for High Solar Concentration", *10<sup>th</sup> International Conference on Concentrator Photovoltaic Systems: CPV-10*, Vol. 1616, 2014, pp.211~214.
- 9) Ju, X., Wang, Z., Flamant, G., Li, P., and Zhao, W., "Numerical Analysis and Optimization of a Spectrum Splitting Concentration Photovoltaic-Thermoelectric Hybrid System", *Solar Energy*, Vol. 86, No. 6, 2012, pp.1941~1954.
- 10) [http://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/mankins\\_sps\\_alpha.html](http://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/mankins_sps_alpha.html)
- 11) Yoon, Y. S., Choe, N. N., Lee, H. H., Choi, J. S., "Technological Trends in Space Solar Power", *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, Vol. 7, No. 2, 2009, pp.33~39.
- 12) Gerhardt, D. T., and Palo, S. E., "Passive Magnetic Attitude Control for CubeSat Spacecraft", *24<sup>th</sup> Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, 2010, pp.1~10.